



**UNIVERSITATEA NAȚIONALĂ DE ȘTIINȚĂ ȘI
TEHNOLOGIE POLITEHNICA BUCUREȘTI
ȘCOALA DOCTORALĂ DE INGINERIE ELECTRICĂ**



TEZĂ DE DOCTORAT

-REZUMAT-

**CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA CUPLAJELOR
INDUCTIVE ȘI CAPACITIVE FOLOSITE ÎN SURSELE DE
ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE**

**CONTRIBUTIONS ON THE OPTIMIZATION OF INDUCTIVE
AND CAPACITIVE COUPLINGS USED IN SWITCHED
MODE POWER SUPPLIES**

Coordonator științific:

Prof. Dr. Ing. Mihai IORDACHE

Doctorand:

Ing. Ovidiu-Dorin LĂUDATU

BUCUREȘTI

2024

Contribuții privind optimizarea cuplajelor inductive și capacitive folosite în sursele de alimentare în comutație

CUPRINS

CUPRINS.....	3
1. INTRODUCERE.....	1
1.1. Formularea problemei.....	1
1.2. Structura și conținutul tezei.....	2
1.3. Diseminarea rezultatelor	4
2. TOPOLOGII DE SURSE DE ALIMENTARE.....	5
2.1. Introducere	5
2.2. Clasificarea surselor de alimentare în comutație.....	7
3. STADIUL ACTUAL AL SURSELOR DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE	8
3.1. Introducere	8
3.2. Soluții propuse.....	9
4. CONSIDERENTE PRIVIND OPTIMIZAREA SURSELOR DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE	10
4.1. Modificarea 1 - Cuplaje inductive care înlocuiesc transformatorul de putere.....	10
4.2. Modificarea 2 - Cuplaje capacitive care înlocuiesc transformatorul de putere	10
4.3. Modificarea 3 - Cuplaje inductive folosite în bucla de reacție	11
4.4. Modificarea 4 - Cuplaje capacitive folosite în bucla de reacție.....	11
4.5. Concluzii	12
5. REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE HALF-BRIDGE FOLOSIND CUPLAJ INDUCTIV, CU BUCLĂ DE REACȚIE DESCHISĂ.....	12
5.1. Introducere	12
5.2. Schema bloc	13
6. REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE HALF-BRIDGE FOLOSIND CUPLAJ CAPACITIV, CU BUCLĂ DE REACȚIE DESCHISĂ ...	14
6.1. Introducere	14
6.2. Schema bloc	14
7. REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE FLYBACK, CU BUCLĂ DE REACȚIE ÎNCHISĂ, INCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE REALIZÂNDU-SE PRIN CUPLAJ INDUCTIV.....	15
7.1. Introducere	15
7.2. Schema bloc	15
8. REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE FLYBACK, CU BUCLĂ DE REACȚIE ÎNCHISĂ, INCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE REALIZÂNDU-SE PRIN CUPLAJ CAPACITIV	16
8.1. Introducere	16
8.2. Schema bloc a sursei de alimentare folosind închiderea buclei de reacție prin cuplaj capacitiv	16
8.3. Schema electronică a cuplajului capacitiv	17

9. CONCLUZII FINALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE	18
9.1. CONCLUZII GENERALE	18
9.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE	19
9.3. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ	21
10. BIBLIOGRAFIE.....	22
11. ANEXE.....	26
11.1. A1 SCHEMA MODULULUI DE BAZĂ A TOPOLOGIILOR HALF-BRIDGE	26
11.2. A2 SCHEMA SURSEI DE ALIMENTARE FLYBACK, FOLOSIND ÎNCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE PRIN CUPLAJ INDUCTIV	27
11.3. A3 SCHEMA SURSEI DE ALIMENTARE FLYBACK, FOLOSIND ÎNCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE PRIN CUPLAJ CAPACITIV	28

LISTĂ ABREVIERI

AC / CA - Alternating Current - Current Alternativ

DC / CC - Direct Current - Curent Continuu

U - Tensiunea Electromotoare

I - Intensitatea Curentului Electric

R - Rezistența

L - Inductivitatea Proprie

M - Inductivitatea Mutuală

C - Capacitate

G - Conductanța

Z - Impedanța

X_L - Reactanța Inductivă

X_C - Reactanța Capacitivă

T_r - Tranzistor

Φ_m - Flux Magnetic

B - Beta - Factor De Amplificare

F - Frecvența

ESR - Equivalent Series Resistance - rezistența echivalentă serie

L_{Tx} - Bobina emițătoare

L_{Rx} - Bobina receptoare

R_s - Rezistor de sarcină

K - Raport de transformare

WPT - Wireless Power Transfer - transfer de putere fără fir

IPT - Inductive Power Transfer - cuplaj inductiv pentru transferul de putere

CPT - Capacitive Power Transfer - cuplaj capacitiv pentru transferul de putere

PWM / MID - Pulse Width Modulation - Modulația Impulsului în Durată

AM / MIA - Amplitude Modulation - Modulația Impulsului în Amplitudine

PFM / FM / MF - Pulse Frequency Modulation - Modulația în Frecvență

Dc - Duty Cycle - Factor de umplere a semnalului

Dt - Dead Time - Timp Mort

Contribuții privind optimizarea cuplajelor inductive și capacitive folosite în sursele de alimentare în comutație

BMS - Battery Management System - Sistem de monitorizare a bateriei
SMD - Surface Mounted Device - componenta se lipește direct pe suprafața de cupru
THT - Through Hole Technology - pini componentei se introduc prin circuitul imprimat
SOP-8 - Small Outline Integrated circuit - Circuit integrat cu 8 terminale
IC - Integrated Circuit – Circuit integrat
PDIP-20 - Plastic Dual In-Line Package - Circuit integrat cu 20 terminale
OP-AMP - Amplificator Operațional
OSC - Oscilator, generator de semnal
ADC - Analog to Digital Converter - convertor analog-digital
DAC - Digital to Analog Converter - convertor digital-analog
SMPS - Switched-Mode Power Supply - Sursă de alimentare în comutație
LCC - Conexiune Bobină-Condensator-Condensator
LLC - Conexiune Bobină-Bobină-Condensator
VCM - Voltage Controlled Mode - Controlul în tensiune
CCM - Current Controlled Mode - Controlul în curent
MOSFET - Metal Oxid Semiconductor Field Effect Transistor - tranzistor cu efect de câmp
IGBT - Insulated Gate Bipolar Transistor - tranzistor bipolar cu poartă izolată
LED - Light Emitting Diode - diodă emițătoare de lumină
ASIC - Application Specific Integrated Circuit - circuit integrat specializat
PCB - Printed Circuit Board - placă cu cablaj imprimat
EMI - Electromagnetic Interference - interferențe electromagnetice
MPPT - Maximum Power Point Tracking - extragerea puterii maxime din circuit
 N_p - Număr de spire din înfășurarea primară
 N_s - Număr de spire din înfășurarea secundară
LFO - Low Frequency Oscillator - generator de joasă frecvență
VNA - Vector Network Analyzer - analizor de rețea vectorială

PREFAȚĂ

Această teză reprezintă rezultatul activității de cercetare din perioada octombrie 2020 -septembrie 2023, având ca domeniu principal de cercetare sursele de alimentare în comutație, respectiv optimizarea funcționalității cuplajelor inductive și capacitive. Aceasta a fost realizată în cadrul Facultății de Inginerie Electrică a Universității Politehnica din București.

Doresc să îi mulțumesc în mod special domnului Prof.dr.ing. Mihai IORDACHE, conducătorul meu de doctorat pentru implicarea și răbdarea acordată.

De asemenea doresc să mulțumesc domnului Prof. dr. ing. Valentin NĂVRĂPESCU pentru sprijinul acordat în perioada studiilor de master. Doresc să mulțumesc tuturor cadrelor didactice din cadrul Facultății de Inginerie Electrică a Universității Politehnica din București care au contribuit la dezvoltarea mea ca inginer, în cadrul studiilor de master și doctorat.

Sunt profund recunoscător domnului Pr.Prof.dr.ing. Ciprian-Gheorghe NISTOR pentru sprijinul moral și ajutorul acordat în perioada studiilor de licență, precum și domnului Prof. dr.ing. Aurel-Cornel STANCA pentru sprijinul acordat în studierea microcontrollerelor și a limbajelor de programare. Doresc să mulțumesc tuturor cadrelor didactice din cadrul Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor a Universității Transilvania din Brașov, care au contribuit la formarea mea ca inginer, în cadrul studiilor de licență.

Nu în ultimul rând, doresc să mulțumesc familiei mele pentru sprijinul acordat, tatălui meu pentru deschiderea drumului către domeniul electric/electronic.

Doresc să dedic această teză, tuturor pasionaților de domeniu electric și electronic.

Mulțumesc mult! București 2024, Ovidiu-Dorin Lăudatu

1. INTRODUCERE

Lucrarea de cercetare se intitulează: “ Contribuții privind optimizarea cuplajelor inductive și capacitive folosite în sursele de alimentare în comutație”, aceasta vine ca un progres tehnologic al surselor de alimentare în comutație folosite în cadrul industriei electronice de larg consum.

Majoritatea echipamentelor electronice de larg consum (televizoare, calculatoare, monitoare, imprimante, sisteme audio, alimentator pentru telefonul mobil, echipamente de laborator, echipamente de rețea, sisteme de încărcare pentru autovehicul electric, majoritatea echipamentelor alimentate de la rețeaua națională etc) folosesc surse de alimentare în comutație..

Aceste surse de alimentare sunt indispensabile și oferă nenumărate beneficii, precum: costuri mici de producție, dimensiuni și greutatea reduse considerabil, în raport cu sursele de alimentare liniare.

Scopul prezentei teze de doctorat este de a aduce contribuții semnificative în realizarea surselor de alimentare în comutație cu separare galvanică, prin aducerea unor modificări de proiectare asupra cuplajelor inductive și capacitive, modificări care se vor traduce prin beneficii în raport cu: reducerea costului de producție, eficiența energetică, îmbunătățirea parametrilor nominali de funcționare și reducerea emisiilor EMI etc.

Pentru elaborarea de modificări în structura surselor de alimentare, (modificări care au fost prezentate în această lucrare), au fost realizate o serie de calcule, simulări ale schemelor electronice folosind programe dedicate, precum și experimente de laborator. În prezenta lucrare de cercetare, au fost prezentate majoritatea rezultatelor satisfăcătoare obținute în urma cercetărilor efectuate.

1.1. Formularea problemei

Majoritatea echipamentelor electronice folosesc surse de alimentare în comutație, în special echipamentele alimentate de la rețeaua națională de energie electrică. Pentru a asigura o stabilizare a tensiunii de ieșire (dacă este o sursă de tensiune), sau o stabilizare a curentului electric (dacă funcționează în regim de sursă de curent), este necesară introducerea unei bucle de reacție între modulul secundar al sursei și modulul din primar al sursei.

Această buclă de reacție poate fi realizată prin:

- Cuplaj optic analogic, unde semnalul este transmis liniar, sau optic digital, unde semnalul de reacție este transmis sub formă de impulsuri (în acest caz pot fi impulsuri de comandă directă a elementului semiconductor de putere, sau indirectă, printr-un circuit driver) . În cazul cuplajului optic analogic (care este și cel mai folosit), dacă optocuplorul prezintă defect (se distruge LED-ul din interior din cauza supracurentului sau a temperaturilor mari de lucru) tensiunea de ieșire sau curentul de ieșire va crește considerabil, rezultând în distrugerea sursei dar și a echipamentelor pe care aceasta le alimentează.

- Cuplaj inductiv, folosind în bucla de reacție un transformator de impuls, acesta poate comanda direct tranzistoarele de putere, sau poate comanda un circuit de driver a tranzistorului sau tranzistoarelor de putere.

Obiectivele acestei lucrări de cercetare sunt următoarele:

Îmbunătățirea performanțelor surselor de alimentare în comutație cu separare galvanică, prin:

1. Înlocuirea transformatorului de impuls cu miez feromagnetic cu:
 - Circuit WPT - plasarea bobinei primare și a bobinei secundare pe traseul PCB al modulului electronic
 - Circuit CPT - folosind capacitatea formată de cele două trasee ale circuitului PCB *top* și *bottom*, dielectricul fiind realizat din sticlo-textolit sau pertinax.
2. Eliminarea optocuplorului (analogic sau digital cu histerezis), și a transformatorului de impuls cu miez feromagnetic folosit la închiderea buclei de reacție și introducerea a două cuplaje:
 - Cuplaj inductiv IPT, folosind două bobine realizate din traseul PCB al modulului, fără miez magnetic.
 - Cuplaj capacitiv CPT, folosind două capacități realizate din traseul PCB al modulului.

Ambele cuplaje folosesc ca și principiu de comunicare WPT.

Avantajele noilor contribuții sunt:

- Îmbunătățirea răspunsului buclei de reacție.
- Reducerea consumului de energie prin intrarea în regim de sleep a modulului primar prin comanda digitală din secundar.
- Reducerea consumului de energie prin eliminarea optocuplorului.
- Îmbunătățirea variațiilor parametrilor nominali cu temperatura de funcționare.
- Reducerea tensiunii de drift.
- Reducerea riplului de ieșire.
- Reducerea costului de producție prin eliminarea optocuplorului sau a miezului feromagnetic din circuitului magnetic al buclei de reacție.
- Reducerea costului de producție a transformatorului de putere de impuls.
-

1.2. Structura și conținutul tezei

Lucrarea de cercetare este structurată pe 9 capitole:

CAPITOLUL 1 INTRODUCERE sunt prezentate pe scurt probleme apărute în cazul surselor de alimentare în comutație cu buclă închisă, dar soluții pentru rezolvarea acestora.

CAPITOLUL 2 TOPOLOGII DE SURSE DE ALIMENTARE – a fost realizată o scurtă prezentare a principalelor topologii de surse de alimentare în comutație, atât cu separare galvanică, cât și fără. Soluțiile propuse pot fi folosite în cadrul acestor topologii de surse de alimentare în comutație.

CAPITOLUL 3 STADIUL ACTUAL AL SURSELOR DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE a fost realizată o scurtă prezentare a modalităților tehnice actuale de închidere a buclelor de reacție, dar și o simulare a celor trei cuplaje, optice-inductive-capacitive.

CAPITOLUL 4 CONSIDERENTE PRIVIND OPTIMIZAREA SURSELOR DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE. În cadrul acestui capitol s-au prezentat patru soluții tehnice pentru optimizarea surselor în comutație. Prima soluție constă în înlocuirea transformatorului de putere cu miez din ferită, cu un circuit WPT realizat din traseul circuitului PCB. A doua soluție este dată de înlocuirea transformatorului de putere cu un cuplaj capacitiv realizat din circuitul PCB, pentru sursele de puteri mici. A treia soluție este realizarea închiderii buclei de reacție printr-un cuplaj inductiv realizat din traseul de cupru al circuitului PCB. A patra soluție este închiderea buclei de reacție folosind cuplaj capacitiv realizat cu ajutorul circuitului PCB. Aceste soluții fac obiectul următoarelor patru capitole.

CAPITOLUL 5 REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE HALF-BRIDGE FOLOSIND CUPLAJ INDUCTIV, CU BUCLĂ DE REACȚIE DESCHISĂ - prezintă cercetarea, proiectarea, simularea și realizarea fizică împreună cu rezultate experimentale ale unei surse de alimentare folosind topologia Half-Bridge. În acest caz sursa înlocuiește tradiționalul transformator cu un cuplaj inductiv realizat din două trasee PCB suprapuse.

CAPITOLUL 6 REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE HALF-BRIDGE FOLOSIND CUPLAJ CAPACITIV, CU BUCLĂ DE REACȚIE DESCHISĂ. În acest capitol s-au realizat cercetări în direcția înlocuirii transformatorului uzual cu miez din ferită. Au fost proiectate, simulate și construite fizic două surse folosind un cuplaj capacitiv realizat din circuitul PCB.

CAPITOLUL 7 REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE FLYBACK, CU BUCLĂ DE REACȚIE ÎNCHISĂ, ÎNCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE REALIZÂNDU-SE PRIN CUPLAJ INDUCTIV – s-au realizat cercetări în vederea înlocuirii cuplajului optic prin optocuplor sau inductiv prin transformator cu miez din ferită, înlocuirii cu un cuplaj inductiv realizat din traseele circuitului PCB. Pentru proiectarea sursei a fost aleasă topologia Flyback.

CAPITOLUL 8 REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE FLYBACK, CU BUCLĂ DE REACȚIE ÎNCHISĂ, ÎNCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE REALIZÂNDU-SE PRIN CUPLAJ CAPACITIV – au fost realizat cercetări în vederea înlocuirii cuplajelor optice și inductive, cu un cuplaj capacitiv folosit pentru închiderea buclei de reacție în cazul surselor de alimentare cu separare galvanică. S-a proiectat schema electronică, s-au realizat calcule și simulări, dar și construcția fizică a sursei împreună cu rezultate experimentale.

CAPITOLUL 9 CONCLUZII FINALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE – este un capitol dedicat prezentării rezultatelor obținute dar și a noilor direcții de cercetare ce se impun pe baza rezultatelor obținute.

1.3. Diseminarea rezultatelor

1) Mihaela Grib, Ionela Vlad, **O. D. Lăudatu**, A. R. Grib, M. Iordache, Hybrid Equivalent Circuit Generation, Carpathian Journal of Electrical Engineering, vol. 15, no. 1, pp. 81-93, 2021.

2) M. Grib, M. Iordache, A. R. Grib, H. Popescu, **O. Laudatu** and M. Staniloiu, "The Use of Thévenin, Norton and Hybrid Equivalent Circuits in The Analysis and Polarization of Nonlinear Analog Circuits," 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), Iasi, Romania, 2022, pp. 198-207, doi: 10.1109/EPE56121.2022.9959871.

3) **O. Laudatu**, M. Iordache, M. Stanculescu, L. Bobaru, D. Niculae and O. Drosu, "Wireless Power Transmission System Design. A Practical Approach.," 2023 13th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, Romania, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ATEE58038.2023.10108155.

4) D. Niculae, M. Iordache, L. Bobaru, M. Stănculescu, M. Grib and **O. Laudatu**, "Adapting the Impedance of The Signal Transmission Lines," 2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 01-05, doi: 10.1109/MPS58874.2023.10187513.

5) **O. Lăudatu**, M. Iordache, M. Stănculescu, D. Niculae, L. Bobaru and O. Drosu, "Loop Closing of Flyback Switching Power Supply Using Inductive Coupling. Practical Study," 2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 01-04, doi: 10.1109/MPS58874.2023.10187546.

6) **O. Lăudatu**, M. Iordache, M. Stănculescu, L. Bobaru, D. Niculae and E. Cazacu, "Loop Closing of Flyback Switching Power Supply Using Capacitive Coupling," 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Craiova, Romania, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290757

7) **Ovidiu Lăudatu**, Mihai Iordache, "Comparison of Inductive and Capacitive Couplings Used to Close the Feedback Loop Used in Switch Mode Power Supplies", *Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechn. et Énerg.*, Vol.68, 4, DOI: <https://doi.org/10.59277/RRST-EE.2023.4>, WOS:001126934500008, Bucarest, 2023, Published: 14.12.2023. pp. 363–368.

8) **Ovidiu Lăudatu**, Dragoș Niculae, Mihai Iordache, Maria – Lavinia Bobaru, Marilena Stănculescu, "Experimental Analysis of Power Semiconductor Elements Used in Flyback Converters", *Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechn. et Énerg.*, Vol. 69 No.1 (2024): RRST-EE, 1, <https://doi.org/10.59277/RRST-EE.2024.1.12>, WOS:001198252400013, Bucarest, 2024, Published: 04.04.2024. pp. 67–72.

2. TOPOLOGII DE SURSE DE ALIMENTARE

2.1. Introducere

Sursele de alimentare asigură livrarea puterii electrice către circuitele electronice, având parametri de livrare foarte bine definiți. Sursele de alimentare se împart în două categorii, surse de alimentare liniare și surse de alimentare în comutație.

Sursele de alimentare liniare oferă o stabilitate foarte bună a parametrilor de ieșire, un ripple foarte mic în comparație cu sursele de alimentare în comutație, dar o eficiență energetică foarte scăzută. Din acest motiv acestea sunt folosite în majoritatea cazurilor, în circuite unde puterea consumată este relativ scăzută. Un exemplu de sursă de alimentare liniară reglabilă se poate observa în Fig. 2.1, unde este prezentată o sursă de alimentare liniară de laborator, aceasta a fost realizată cu scopul de a alimenta diverse circuite de laborator.

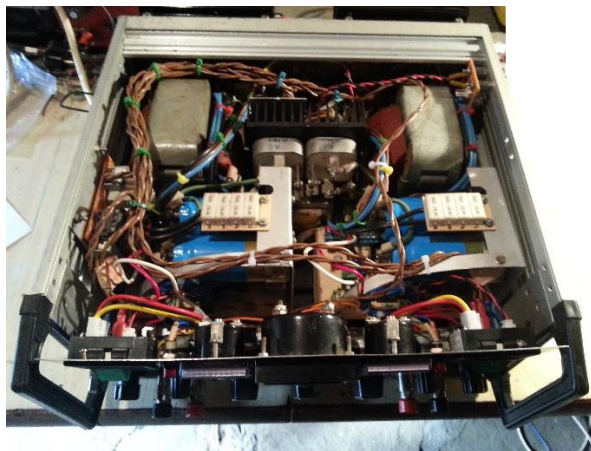


Fig. 2.1 Sursă de alimentare liniară reglabilă

Sursele de alimentare liniare au un randament mult mai mic, în comparație cu sursele de alimentare în comutație. Această pierdere de energie este disipată în mare parte de elementele semiconductoare, în cazul sursei prezentate, de tranzistorii bipolari conectați pe radiator, prezentați în Fig. 2.2.

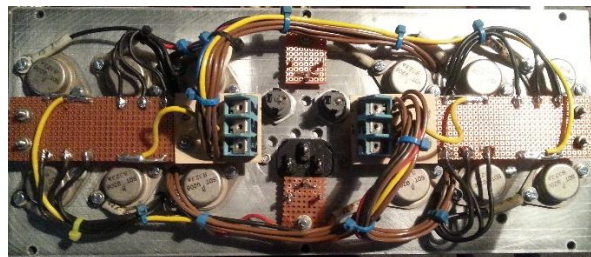


Fig. 2.2 Tranzistorii sursei de alimentare conectați pe radiator

Schema de bază a unei surse de alimentare liniare stabilizată este prezentată în Fig.2.3. Componentele de bază sunt: transformatorul TR1- are rolul de a modifica parametrii tensiune/curent, și de a asigura o separare galvanică, acesta funcționează la o frecvență joasă, de ordinul Hz; puntea redresoare BR1- are rolul de a redresa tensiunea alternativă în tensiune

continuă pulsatorie; condensatorul C1 - are rolul de a menține tensiunea constantă, prin reducerea riplului; circuitul integrat U1 - este un circuit stabilizator de tensiune, liniar, cu rolul de a menține stabilă tensiunea de ieșire VO; C3 - are rolul de a reduce valoarea riplului tensiunii de ieșire, și de a îmbunătăți răspunsul buclei de reacție din interiorul circuitului liniar stabilizator.

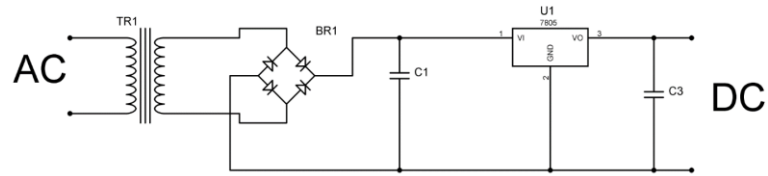


Fig. 2.3 Schema unei surse de alimentare cu stabilizator de tensiune liniar

Sursele de alimentare în comutație sunt echipamente electronice de putere care asigură livrarea puterii electrice către consumatori, la un randament foarte bun în comparație cu sursele de alimentare liniare. Ca și construcție, acestea sunt mai complexe și necesită un număr mai mare de componente electronice. Se numesc surse de alimentare în comutație deoarece acestea funcționează la frecvențe medii spre mari, de ordinul KHz-MHz, din acest motiv au nevoie de un circuit oscilant, care să genereze acea frecvență de lucru.

Un exemplu de sursă de alimentare în comutație se poate observa în Fig. 2.4, sursa de alimentare provine dintr-un DVD.



Fig. 2.4 Sursă de alimentare în comutație

Schema electronică de baza a unei surse de alimentare în comutație se poate observa în Fig.2.5.

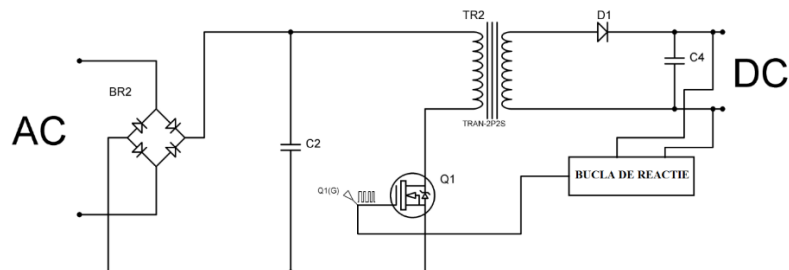


Fig. 2.5 Schema de principiu a unei surse de alimentare în comutație

2.2. Clasificarea surselor de alimentare în comutație

Sursele de alimentare în comutație se împart în mai multe categorii, în funcție de:

1. Separare galvanică:

- Cu separare galvanică, inductivă prin transformator sau capacitivă prin condensator
- Fără separare galvanică, folosind bobină sau condensator (charge pump)

2. Modalitatea de comandă a semiconductoarelor de putere:

- Modularea impulsului în durată MID/PWM
- Modularea impulsului în amplitudine MIA/AM
- Modularea impulsului în frecvență MF/FM

3. Comanda impulsului și a redresării:

- Asincronă - atunci când oscilatorul generează un singur semnal, necesar comenzii tranzistorului de putere, redresarea tensiunii fiind realizată prin diodă, necontrolat, atunci când valoarea tensiunii de polarizare directă depășește U_f -tensiunea de polarizare directă a diodei, aceasta variază în funcție de tipul diodei. Din acest motiv, sursa de alimentare se numește asincronă, deoarece redresarea din secundar și impulsul din primar nu sunt sincronizate.
- Sincronă - atunci când generatorul generează impuls/ impulsuri de comandă pentru modulul din primar, dar și impuls/ impulsuri de comandă pentru modulul de redresare din secundar, redresarea realizându-se în acest caz cu tranzistori de putere, fiind necesar introducerea unui Dt între aceste impulsuri. În acest caz impulsurile din primar și secundar sunt sincronizate.

4. Bucla de reacție:

- Cu buclă închisă - atunci când există o legătură de comunicare între modulul secundar și modulul primar, poate fi cu separare galvanică, sau fără separare galvanică
- Cu buclă deschisă - atunci când parametrii de ieșire a sursei nu sunt stabiliți, comanda realizându-se în funcție de valoarea curentului din modulul primar.

5. Comanda buclei de reacție:

- VCM - comanda impulsurilor se realizează în funcție de valoarea amplitudinii tensiunii sau tensiunilor de ieșire
- CCM - comanda se realizează în funcție de curentul de ieșire a sursei sau curentul drenă/colector-transformator/bobină, dacă funcționează în buclă deschisă.

3. STADIUL ACTUAL AL SURSELOR DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE

3.1. Introducere

În electronica modernă, sursele de alimentare folosesc pentru transmiterea puterii electrice din modulul primar către modulul secundar, un transformator de mare frecvență, având în compunerea circuitului magnetic un material numit ferită. Transformatorul asigură separarea galvanică dintre partea primară și partea secundară a sursei de alimentare.

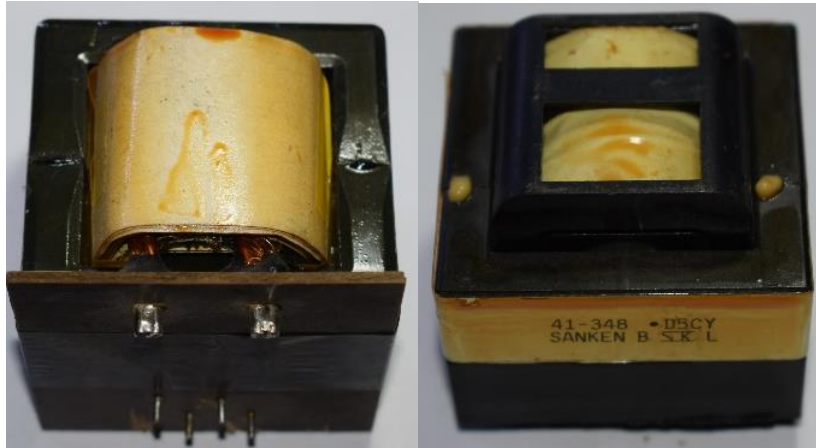


Fig. 3.1 Transformatoare de putere folosite în topologia Full-Bridge și Flyback

Închiderea buclei de reacție se realizează prin două modalități de transmitere:

- Optic - analogic folosind un optocuplor compus dintr-o diodă LED pe partea de secundar, și un tranzistor bipolar, pe partea de primar. În majoritatea cazurilor, acesta este controlat de o diodă Zenner comandată (TL431)



Fig. 3.2 Optocuplor EL817

- digital folosind un optocuplor care este compus dintr-un LED de emisie, alimentat de modulul secundar al sursei și un tranzistor care poate comanda un amplificator operațional cu amplificator clasa AB la ieșire, sau poate comanda un circuit care are integrat o buclă de histerezis.

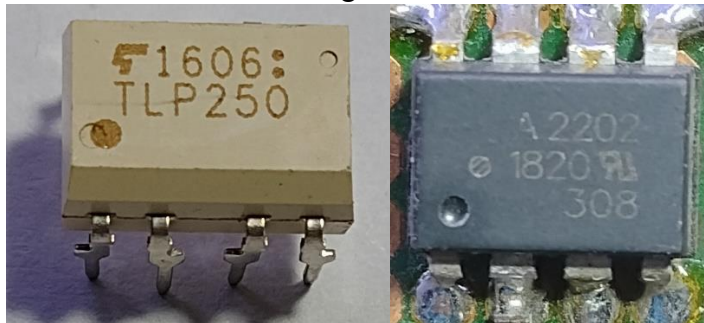


Fig. 3.3 Optocuploare digitale

- Inductiv - folosind un transformator de impuls Fig.2.26 având circuitul magnetic compus dintr-un miez din ferită, acesta poate transmite impulsurile de comandă din secundar către primar, sau poate alimenta direct tranzistorii de putere Fig.2.26, în acest caz fiind necesară implementarea unei surse de alimentare în comutație separată cu rolul de a menține alimentat circuitul de comandă din secundar.

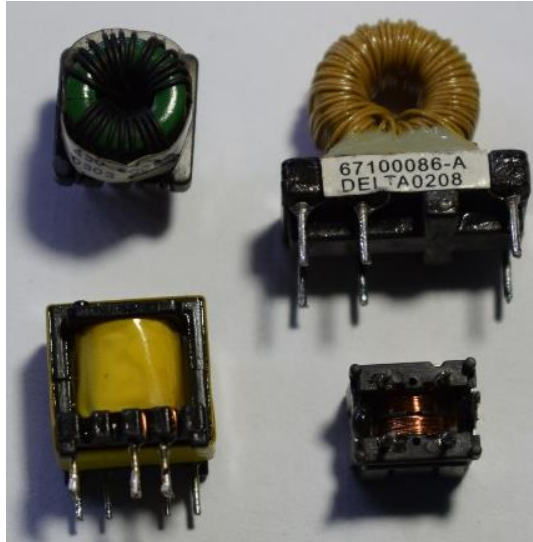


Fig. 3.4 Transformatoare de impuls folosite la închiderea buclei de reacție sau la comanda tranzistoarelor de putere

3.2. Soluții propuse

Pentru a eficientiza sursa de alimentare, micșorând dimensiunile fizice, propun înlocuirea transformatorului de putere Fig.3.1 cu:

-Cuplaj inductiv- transformator fără circuit magnetic realizat din ferită, acesta fiind realizat pe traseul PCB al circuitului imprimat folosind mai multe straturi ale circuitului PCB, sau realizarea a două bobine (bobină pentru primar și bobină pentru secundar) lipite pe stratul de PCB.

-Cuplaj capacitiv - folosind capacitatea formată între straturile de cupru ale PCB-ului, pentru a transmite puterea electrică, către modulul secundar.

Pentru a reduce timpul de răspuns a buclei de reacție, propun înlocuirea optocuplorului și a transformatorului cu miez din ferită cu:

-Cuplaj inductiv - închiderea buclei de reacție digitală realizându-se prin două bobine construite pe traseul PCB al circuitului, top și bottom.

-Cuplaj capacitiv - închiderea buclei de reacție digitală realizându-se prin două condensatoare realizate din traseul PCB al circuitului, pertinax-ul având rol de material dielectric și izolator, material din care este construită placa PCB.

4. CONSIDERENTE PRIVIND OPTIMIZAREA SURSELOR DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE

Pentru a optimiza dimensiunile sursei de alimentare, costurile de producție, eficiența în stand-by, precum și răspunsul în cazul sarcinilor variabile, propun **patru modificări de proiectare:**

4.1. Modificarea 1 - Cuplaje inductive care înlocuiesc transformatorul de putere

Înlocuirea transformatorului de înaltă frecvență cu miez din ferită cu un cuplaj inductiv realizat din bobine realizate din traseul multistrat al circuitului PCB.

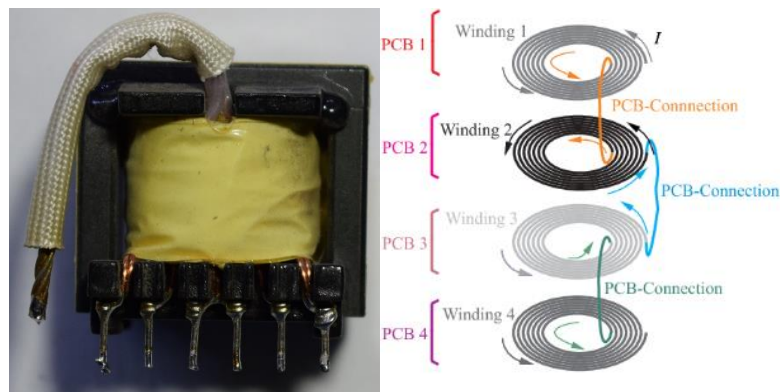


Fig. 4.1 Înlocuirea transformatorului cu bobine WPT [7]

În Fig.4.1 este reprezentat transformatorul de putere dintr-o sursă de alimentare în comutație, și proiectarea în 3D a bobinelor realizate pe circuitul PCB, bobine care înlocuiesc transformatorul.

4.2. Modificarea 2 - Cuplaje capacitive care înlocuiesc transformatorul de putere

În cazul surselor de alimentare în comutație cu separare galvanică de puteri foarte mici, de ordinul 1-10W, transformatorul de putere cu miez din ferită se poate înlocui cu un cuplaj capacitiv, realizat din straturile de cupru ale circuitului imprimat PCB.

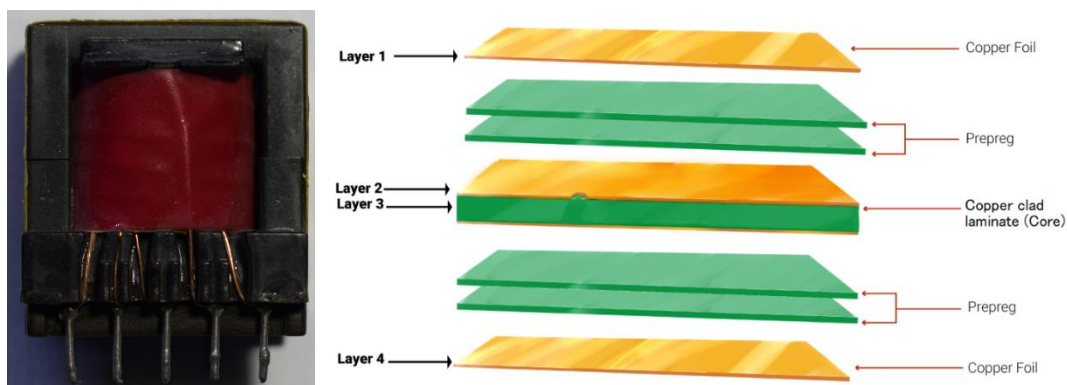


Fig. 4.2 Înlocuirea transformatorului cu, cuplaje capacitive realizate din traseul PCB [8]

În Fig.4.2 sunt prezentate transformatorul de putere dintr-o sursă de alimentare în comutație și secțiunea 3D a unui circuit imprimat PCB. Capacitatea formată între straturile de cupru ale circuitului PCB, asigură transmiterea puterii electrice din modulul primar către modulul secundar.

4.3. Modificarea 3 - Cuplaje inductive folosite în bucla de reacție

Pentru a îmbunătăți răspunsul buclei de reacție, în cazul surselor de alimentare cu separare galvanică, propun înlocuirea optocuplorului și a transformatorului de impuls cu un cuplaj inductiv realizat din două bobine dispuse pe top și bottom, pe circuitul imprimat PCB. Astfel putem asigura separarea galvanică, putem îmbunătăți răspunsul buclei de reacție, toate printr-un cost redus.

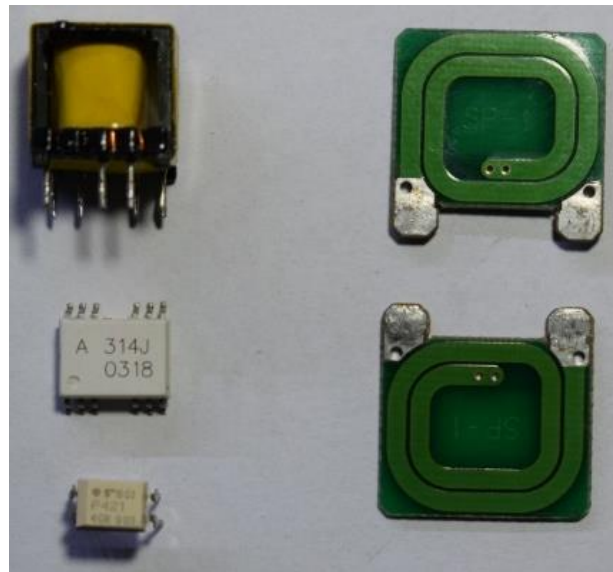


Fig. 4.3 Înlocuirea optocuplorului și a transformatorului de impuls cu bobine WPT

În Fig.4.3 se pot observa elementele de transmisie folosite în mod uzual, în speță transformatorul de impuls, optocuplorul digital și optocuplorul analogic. Răspunsul în frecvență este mult mai bun în cazul cuplajelor cu bobine WPT.

4.4. Modificarea 4 - Cuplaje capacitive folosite în bucla de reacție

Pentru a îmbunătăți răspunsul buclei de reacție și a reduce costurile de producție în cazul surselor de alimentare în comutație cu separare galvanică și buclă închisă, propun înlocuirea cuplajului inductiv format dintr-un transformator de impuls cu miez din ferită și a cuplajului optic realizat prin optocuplor, cu un cuplaj capacitiv realizat din două condensatoare formate pe traseul circuitului imprimat PCB.

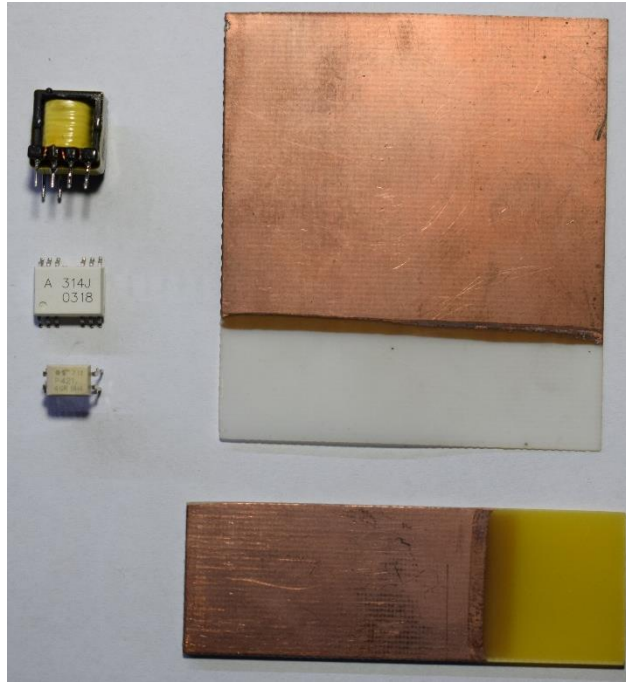


Fig. 4.4 Înlocuirea transformatorului de impuls și a optocuplorului cu un cuplaj capacitiv

În Fig.4.4 se pot observa cuplajele optice prin cele două optocuploare, cuplajul inductiv prin transformator de impuls și cuplaj capacitiv format din cele două straturi de cupru dispuse pe traseul PCB al circuitului imprimat. Se poate distinge dielectricul cuplajului capacitiv, realizat din pertinax.

4.5. Concluzii

În urma experimentelor de laborator realizate, pot spune că aceste cuplaje reprezintă o soluție viabilă în construcția surselor de alimentare în comutație cu separare galvanică.

Pentru a demonstra funcționalitatea celor prezentate mai sus, se procedează la proiectarea, calculul matematic, simularea și realizarea fizică a patru surse de alimentare în comutație, folosind modificările de proiectare prezentate.

5. REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE HALF-BRIDGE FOLOSIND CUPLAJ INDUCTIV, CU BUCLĂ DE REAȚIE DESCHISĂ

5.1. Introducere

Modulul electronic proiectat își propune să demonstreze funcționalitatea unei surse de alimentare în comutație folosind topologia Half-Bridge, având transformatorul de putere cu miez din ferită, înlocuit cu un cuplaj inductiv realizat din bobine dispuse pe traseele din cupru ale circuitului PCB.

Circuitul asigură separarea galvanică între modulul primar de alimentare și modulul secundar de ieșire.

5.2. Schema bloc

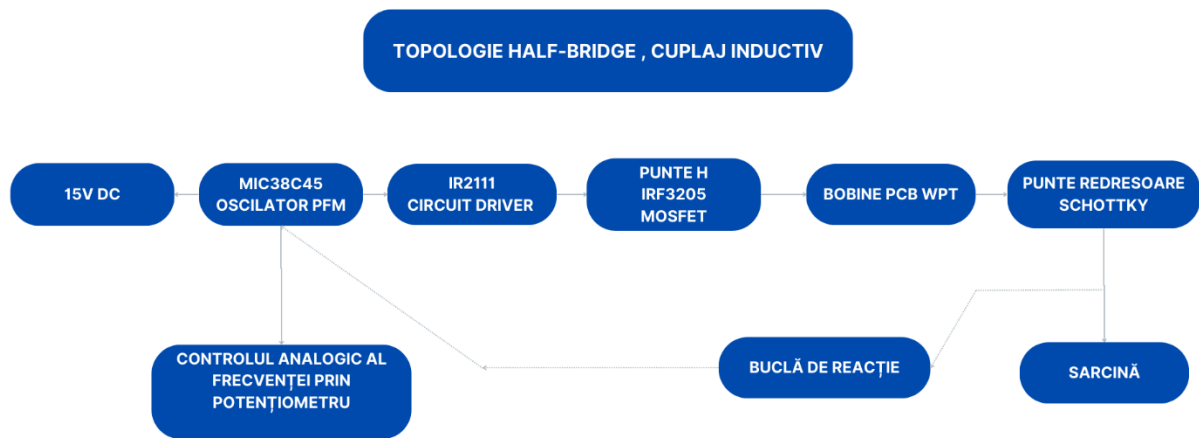


Fig. 5.1 Schema bloc a sursei de alimentare în comutație topologie Half-Bridge prin cuplaj inductiv

Alimentarea modulului se realizează cu tensiune continuă de 15V, această tensiune alimentează circuitul oscilator , circuitul driver și puntea H. Circuitul oscilator este MIC38C45, acesta generează în mod normal un semnal dreptunghiular, cu frecvență fixă și factor de umplere variabil, pulsurile transmise către ieșire fiind controlate în curent. În cazul de față, sursa de alimentare este controlată variind frecvența, PFM, iar pentru acest lucru a trebuit să aduc modificări în schema de bază pentru ca circuitul să funcționeze cu factor de umplere de 50% și frecvență variabilă. În schema bloc este prezentată cu linie punctată și bucla de reacție, care ar fi înlocuit controlul analogic al frecvenței prin potențiomtru.

Pentru a avea un control al experimentelor atât în timpul simulărilor, cat și în cazul experimentelor practice, s-a renunțat la controlul închis prin bucla de reacție, și a fost conectat un potențiomtru analogic, sursa funcționând în regim de buclă deschisă.

Semnalul generat de circuitul oscilator este transmis către circuitul driver IR2111. Acesta este compus dintr-o intrare și două ieșiri. Intrarea este conectată la generatorul de semnal, iar cele două ieșiri la tranzistorii de putere MOSFET. Circuitul driver are rol de a menține tensiunea de comandă și a asigura un curent suficient de mare în grila tranzistoarelor, în special în cazul sarcinilor inductive, cum este bobina planară. Asigurarea unui curent mare de comandă are ca efect un timp de urcare și de coborâre a semnalului mult mai scurt. Acesta mai prezintă și rol de poartă logică inversoare, introducând în același timp și un timp mort între semnalele de ieșire.

Puntea H este compusă din două ramuri, prima ramură este un divizor capacitiv care împarte, tensiunea de alimentare la doi, cealaltă ramură este compusă din două elemente semiconductoare MOSFET IRF3205.

Transmiterea puterii electrice și separarea galvanică dintre primar și secundar se realizează printr-un cuplaj inductiv. În cercetarea efectuată atât în calcule și simulări cât și în realizarea fizică a modulului, au fost folosite patru bobine, două pentru primar și două pentru secundar.

6. REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE HALF-BRIDGE FOLOSIND CUPLAJ CAPACITIV, CU BUCLĂ DE REACȚIE DESCHISĂ

6.1. Introducere

Sursa de alimentare în comutație își propune să înlocuiască cuplajul inductiv folosind transformatoarele de impuls, prin cuplaje capacitive folosind capacități realizate cu ajutorul traseului PCB al circuitului.

Datorită capacităților reduse obținute prin traseul PCB, sursa de alimentare este pretabilă experimental, pentru puteri de maxim 10W. Cercetarea are ca scop găsirea unui cuplaj capacitiv, de dimensiuni reduse, având costuri reduse, și realizat din același material cu, care este realizat modulul electronic, pentru a putea fi adaptat și integrat mult mai ușor.

6.2. Schema bloc

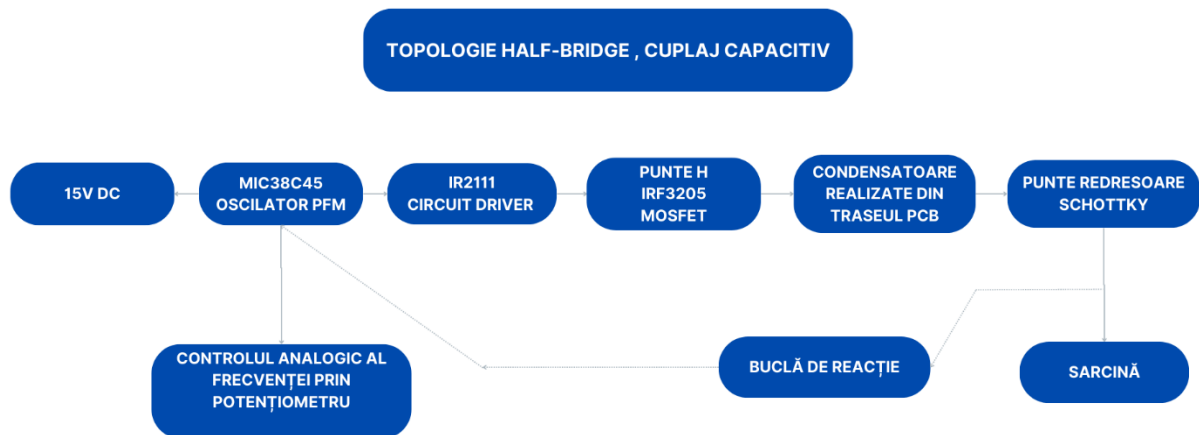


Fig. 6.1 Schema bloc a sursei de alimentare în comutație folosind cuplaj capacitiv

Alimentarea sursei se realizează cu tensiunea de 15V CC, aceasta este compusă dintr-un circuit oscilator, un circuit driver și o punte semi comandată H. Aceste module de comandă a fost prezentate pe larg în (subcapitolele 5.3; 5.4; 5.5).

Experimental, la ieșirea punții H sunt conectate pe rând două circuite CPT serie, formate din capacități realizate din două circuite PCB diferite.

Asemenea (capitolului 5), pentru a avea un control al sarcinii de ieșire, s-a separat bucla de reacție, sursa funcționând în regim de buclă deschisă. Pentru a asigura transferul maxim de putere, frecvența oscilatorului a fost setată la frecvența de rezonanță pentru fiecare circuit experimental conectat la puntea H.

7. REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE FLYBACK, CU BUCLĂ DE REACȚIE ÎNCHISĂ, INCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE REALIZÂNDU-SE PRIN CUPLAJ INDUCTIV

7.1. Introducere

Pentru a demonstra funcționalitatea unei bucle de reacție prin cuplaj inductiv, folosind bobine realizate din traseul PCB al circuitului imprimat, propun realizarea în scopul cercetării, a unei surse de alimentare în comutație folosind topologia Flyback (subcapitol 2.4.1) cu izolare galvanică între modulul primar și modulul secundar. Cercetarea include proiectarea schemei electronice a sursei, simularea pe module a schemei, realizarea fizică a sursei de alimentare, și preluarea rezultatelor obținute în laborator, în timpul diferitelor teste.

Scopul cercetării este de a:

- crește fiabilitatea surselor de alimentare în comutație, prin eliminarea cuplajului optic folosit în majoritatea surselor de alimentare, ne mai fiind necesar menținerea LED-ului aprins din interiorul optocuplorului, cuplajul inductiv consumând mai puțină energie electrică, dacă este dimensionat corect.
- reduce costul de producție prin realizarea bobinelor de cuplare a buclei de reacție pe traseul PCB, înlocuind optocuplorul
- reduce variația tensiunii de ieșire cu temperatura, optocuplorul fiind un element sensibil la variații de temperatură și controlat în curent, acesta poate prezenta variații mari a parametrilor buclei de reacție
- reduce puterea consumată în regim de mers în gol, prin folosirea funcției de sleep a circuitului Driver

7.2. Schema bloc

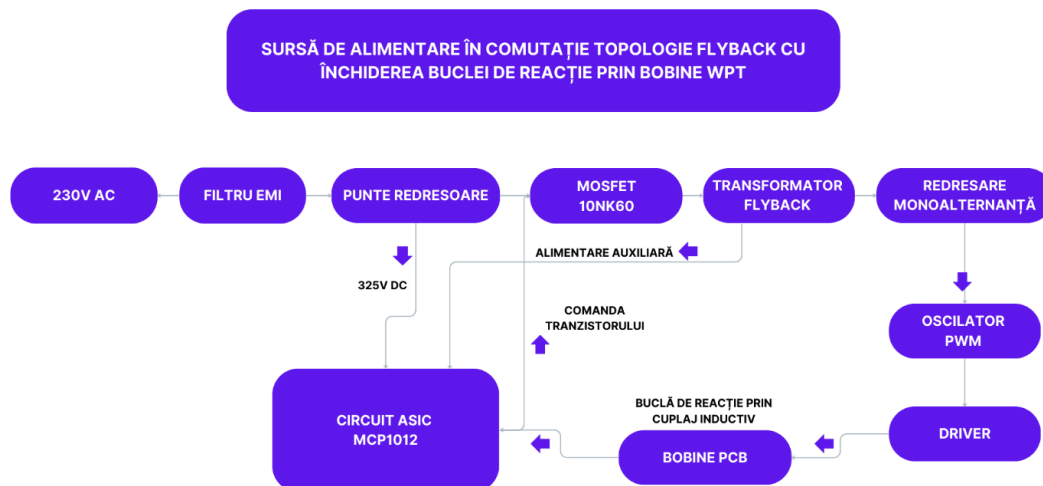


Fig. 7.1 Schema bloc a sursei de alimentare în comutație Flyback, cu închiderea buclei de reacție prin cuplaj inductiv

Alimentarea sursei se realizează de la rețeaua națională, cu tensiunea de 230V CA, tensiunea intră inițial într-un filtru de mod comun, pentru tăierea frecvențelor înalte. Din filtru tensiunea ajunge în puntea redresoare, care transformă tensiunea alternativă în tensiune continuă de aproximativ 325V CC. Circuitul specializat este alimentat direct cu această tensiune înaltă, fiind necesară în regimul de sleep.

Circuitul din primar controlează impulsurile transmise către tranzistorul MOSFET, tranzistorul controlând curentul din înfășurarea primară a transformatorului cu miez din ferită. Din transformator prin înfășurarea secundară se realizează redresarea monoalternanță cu o diodă rapidă, tensiunea de ieșire fiind filtrată printr-un filtru trece-jos, apoi transmisă către circuitul oscilator PWM din secundar.

În modulul secundar se află un generator PWM, este același circuit ca în Fig.5.3, dar schema electronică este diferită. La ieșirea circuitului este conectat un amplificator în clasa AB simplu cu tranzistoare bipolare care are rolul de a alimenta circuitul buclei de reacție prin cuplaj inductiv.

Bucla de reacție funcționează în regim digital, impulsurile de comandă fiind transmise de circuitul din secundar. Din acest motiv, este necesar ca circuitul din primar să încarce condensatorii din secundar în momentul pornirii, pentru ca circuitul din secundar să pornească și să închidă bucla de reacție. Dacă acest lucru nu se întâmplă, sursa va funcționa în regim de buclă deschisă.

În momentul pornirii sursei de alimentare, sursa funcționează în regim de buclă deschisă, circuitul din primar având încorporat un generator de semnal de joasă frecvență LFO, cu rolul de a încărca condensatorii din secundar și astfel de a trezi circuitul din secundar. După momentul trezirii circuitului din secundar, circuitul din primar primește pulsurile de comandă și intră automat în regim de driver inversor, sursa de alimentare funcționând în acest moment în regim de buclă închisă.

8. REALIZAREA UNEI SURSE DE ALIMENTARE ÎN COMUTAȚIE, TOPOLOGIE FLYBACK, CU BUCLĂ DE REACȚIE ÎNCHISĂ, INCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE REALIZÂNDU-SE PRIN CUPLAJ CAPACITIV

8.1. Introducere

Sursele de alimentare folosesc pentru închiderea buclei de reacție, cuplaje optice prin optocuplor sau inductive, folosind transformator de impuls. Pentru a crește performanțele surselor de alimentare în comutație, colaborat cu reducerea costului de producție, propun înlocuirea cuplajelor inductive și optice folosite la închiderea buclei de reacție, cu un cuplaj capacitiv realizat din cablajul PCB al sursei de alimentare și straturile de cupru pe care acesta le încorporează.

În urma cercetărilor efectuate, consider viabil acest cuplaj, și propun realizarea unei surse de alimentare în comutație cu separare galvanică și topologie Flyback Fig.2.18, folosind pentru închiderea buclei de reacție un cuplaj capacitiv.

8.2. Schema bloc a sursei de alimentare folosind închiderea buclei de reacție prin cuplaj capacitiv

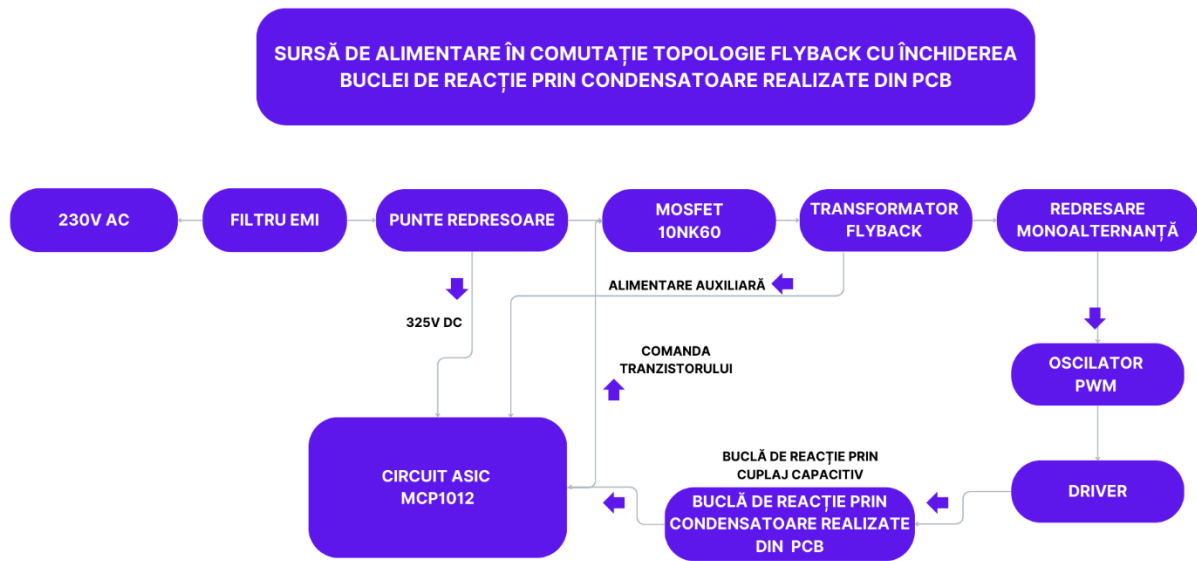


Fig. 8.1 Schema bloc a sursei de alimentare în comutație, topologie Flyback, cu închiderea buclei de reacție prin cuplaj capacitiv

Funcționarea sursei de alimentare este asemenea sursei de alimentare în comutație prezentate în (capitolul 7), cu excepția blocului intern care conține închiderea buclei de reacție prin cuplaj capacitiv.

Cuplajul capacitiv, asemenea cuplajului inductiv, funcționează doar cu componentă alternativă. Controlul buclei de reacție realizându-se din modulul secundar cu ajutorul generatorului PWM.

8.3. Schema electronică a cuplajului capacitiv

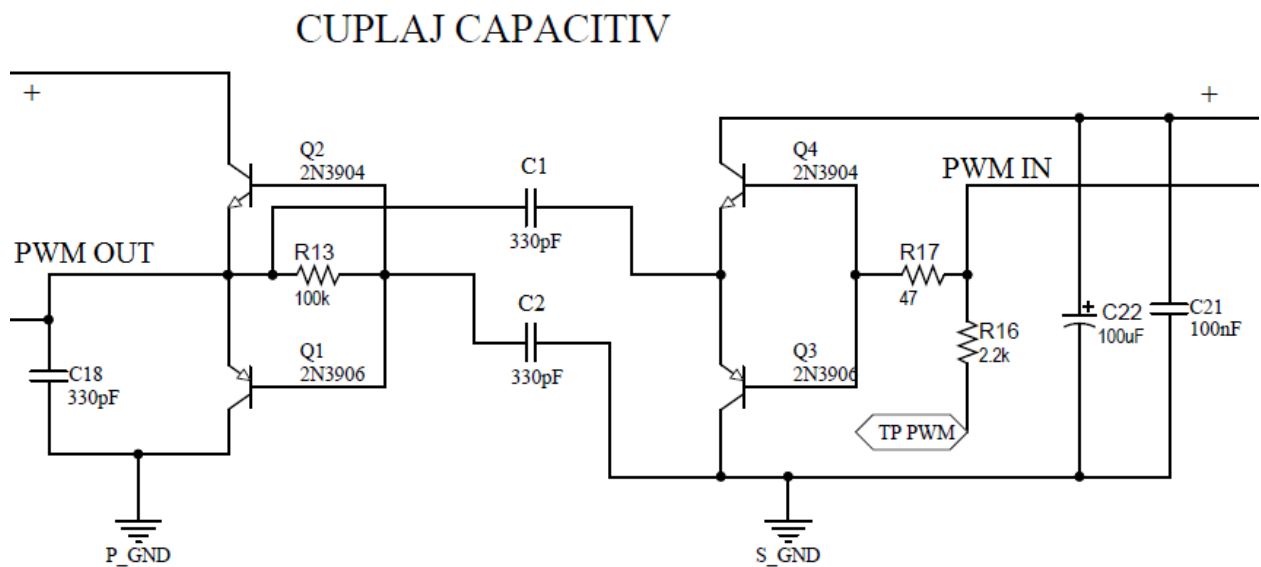


Fig. 8.2 Schema electronică a cuplajului capacitiv folosit pentru transmiterea semnalului buclei de reacție

În schema electronică prezentată în Fig.8.2 intrarea semnalului în bloc se realizează de la dreapta, prin conexiunea PWM IN, iar ieșirea semnalului către circuitul driver din primar se realizează prin PWM OUT. Semnalul intră în rezistorul R17, acesta având rolul de a limita curentul de polarizare, și de a nu depăși limitele punctului static de funcționare a tranzistoarelor bipolare.

Pentru a putea măsura semnalul cu osciloscopul, din ramura de semnal este conectat un rezistor cu rol de protecție la scurt circuit în timpul măsurărilor, osciloscopul prezentând impedanță mare de intrare, de ordinul $M\Omega$, un rezistor cu valoarea de $2.2k\Omega$ nu va afecta semnalul citit. Sonda de măsură se conectează la punctul (TP PWM).

Alimentarea circuitului se realizează prin borna +, iar pentru a asigura o stabilitate a tensiunii, atât la frecvențe joase, cât și la frecvențe mari, pe ramura de alimentare, aproape de tranzistorii bipolari, sunt conectați doi condensatori, C22 și C21 cu rol de condensator de bypass.

Semnalul de ieșire amplificat din tranzistorii bipolari este apoi transmis prin două cuplaje capacitive C1 și C2, către circuitul din primar. Circuitul preia semnalul transmis și îl amplifică folosind doi tranzistori bipolari care formează un amplificator în clasa AB. Paralel cu semnalul primit este conectat R13 cu rol de adaptare a semnalului. Pe modulul realizat fizic, experimental, acest rezistor este un trimer.

Semnalul amplificat este transmis către circuitul driver prin condensatorul C18, acesta are rolul de a menține tensiunea la borne pe toată perioada T_{ON} a tranzistorului de putere MOSFET. Circuitul prezintă în pinul de intrare, pinul PULSE Fig.7.4, o impedanță mare de intrare, care nu descarcă condensatorul și menține tensiunea pozitivă în perioada conducției.

9. CONCLUZII FINALE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE VIITOARE

9.1. CONCLUZII GENERALE

Sursele de alimentare sunt folosite aproape în fiecare echipament electronic, acestea sunt aproape indispensabile când vine vorba de echipament care se conectează la rețeaua națională, din acest considerent, dezvoltarea acestora trebuie să reprezinte un proces continuu.

Ideea principală a cercetării din teza de doctorat pornește din necesitatea dezvoltării de surse de alimentare în comutație cu performanțe, costuri și caracteristici cât mai bune.. Experiența acumulată din proiectarea surselor de alimentare, pasiunea pentru acest domeniu și cercetarea efectuată, sunt transpuse în lucrarea de cercetare prin dezvoltarea celor patru tipuri de cuplaje care aduc modificări benefice în construcția diferitelor topologii de surse de alimentare în comutație.

În timpul etapelor de cercetare au fost întâmpinate câteva probleme, în special în timpul realizărilor fizice a modulelor alimentate cu tensiuni înalte, deoarece orice eroare, sau orice experiment realizat greșit, va duce automat la distrugerea iremediabilă a componentelor,

în special în modulul primar. Dar, pentru a obține rezultate satisfăcătoare și notabile, cercetarea trebuie să treacă prin eșec și să continue.

În cazul cercetării privind cuplajele inductive, care înlocuiesc transformatorul cu miez din ferită, consider că, rezultatele obținute reprezintă un pas important în dezvoltarea surselor de alimentare. Posibilitatea eliminării miezului din ferită oferă avantajele realizării unor module de alimentare cu, costuri mult mai mici, având greutatea mult mai redusă și cu un timp de răspuns mai bun. Eliminarea miezului din ferita va duce și la eliminarea zgomotelor în gama de frecvență audio.

În urma cercetărilor efectuate, înlocuirea transformatorului de putere cu capacități realizate din module PCB, sunt pretabile acolo unde există spațiu suficient pentru modulul de alimentare, iar puterea nominală cerută de sarcină nu depășește valoarea de 10W, cum ar fi o aplică cu LED-uri, un modul de semnalizare, sau alimentarea unui switch.

Cele două modalități de închidere a buclei de reacție prin cuplaje inductive și capacitive oferă o gamă largă de avantaje în dezvoltarea viitoarelor surse de alimentare cu separare galvanică. Avantaje energetice, bucla de reacție consumă o cantitate de energie mai mică decât cuplajul clasic prin optocuplor. Frecvența de lucru este mult mai bună, ceea ce se traduce prin timpi mai mici de comutare în regim de conducție și blocare. Siguranța în exploatare, în cazul optocuplorului, acesta poate ceda, în special în cazul mediilor de lucru cu temperaturi mari, cuplajele capacitive sau inductive fiind mult mai rezistente în aceste medii.

Consider că din cercetările efectuate pot deriva proiecte de surse de alimentare, având caracteristicile generale îmbunătățite.

9.2. CONTRIBUȚII ORIGINALE

Contribuțiile care se aduc în domeniul surselor de alimentare în comutație, pot fi sintetizate după cum urmează:

- ✚ În primul capitol a fost realizată o scurtă prezentare a problemelor cu referire la sursele de alimentare în comutație. Principalele topologii ale acestora au fost prezentate pe scurt, în capitolul doi, unde au fost incluse atât sursele de alimentare cu separare galvanică, cât și sursele fără separare galvanică. Pentru acestea a fost realizată schema electronică de bază și au fost explicate, pentru fiecare topologie în parte, principiul de funcționare;
- ✚ În capitolul doi, au fost prezentate cele mai uzuale topologii de surse de alimentare în comutație cu separare galvanică și buclă de reacție închisă. Toate topologiile prezentate folosesc una sau mai multe bucle de reacție, iar experimentele prezentate în teză, referitor la închiderea buclei de reacție prin cuplaj inductiv sau capacitiv pot înlocui versiunea uzuală prin optocuplor sau transformator de impuls;
- ✚ În capitolul 3 a fost realizată o simulare a celor trei tipuri de cuplaje, optic, inductiv, și capacitiv, și au fost demonstrate afirmațiile aduse cu ajutorul rezultatelor experimentale de laborator.
- ✚ În capitolul 4 au fost prezentate soluțiile care vin în ajutorul problemelor prezentate anterior.
- ✚ În capitolele 5,6,7, și 8, pot spune că pentru fiecare idee de cercetare nouă, verificată, au fost realizate câte un modul experimental, aceste module se găsesc dispuse separat

în cele patru capitole. În cadrul fiecărui modul în parte din cele patru capitole a fost proiectată schema electronică, au fost realizate calcule pentru dimensionarea corectă a componentelor, iar pentru validarea valorilor și a principiilor utilizate, a fost folosită simularea asistată de calculator. După validarea rezultatelor s-a trecut la realizarea fizică pe diferite module, pentru a confirma rezultatele obținute până în acest punct. După realizarea pe module, pe breadboard, circuite în aer, s-a trecut în etapa proiectării modulului final, prin asamblarea modulelor verificate experimental, anterior. După realizarea fizică au fost realizate determinările experimentale apoi au fost identificate zonele în care rezultatele pot fi mai bune. După finalizarea cercetărilor, acestea au fost transpuse în prezenta teză.

Contribuția originală adusa in teza de doctorat constă în: proiectarea, simularea, construcția și testarea (folosind diverse sarcini), a surselor de alimentare în comutație folosind cuplaje inductive și capacitive atât pe ramura de transmitere a puterii electrice, cât și pe ramura transmiterii semnalelor de comandă.

Principalele contribuții originale aduse de autor în teză sunt:

- ✓ Asigurarea separării galvanice din bucla de reacție folosind cuplaje inductive și capacitive în zona surselor de alimentare în comutație, prin înlocuirea cuplajului optic sau transformator de impuls cu circuite WPT sau CPT.
- ✓ Îmbunătățirea timpului de raspuns în cadrul buclei de reacție prin cuplaje capacitive și inductive.
- ✓ Reducerea consumului de energie electrică atunci cand sursa de alimentare în comutație se află în regim de stand-by.
- ✓ Implementarea și simularea regimului de sleep în cazul circuitului oscilator din primar.
- ✓ Reducerea valorii riplului de ieșire a tensiunii, reducere datorată timpului de răspuns mult mai bun a buclei de reacție, în cazul surselor de alimentare în comutație folosind topologie flyback.
- ✓ Înlocuirea circuitului magnetic realizat din ferită cu un cuplaj WPT, acesta oferind dimensiuni reduse, comparativ cu transformatorul de impuls.
- ✓ Înlocuirea circuitului magnetic realizat din ferită cu un cuplaj CPT, acesta a fost realizat folosind traseul PCB al modulului.
- ✓ Simularea cuplajelor capacitive, analiza și experimentarea acestora, pentru o bandă de frecvențe cuprinse în gama de lucru a surselor în comutație.
- ✓ Simularea cuplajelor inductive, analiza și experimentarea acestora, pentru o bandă de frecvențe cuprinse în gama de lucru a surselor în comutație.
- ✓ Analiza cuplajelor capacitive și inductive (art.7), analiza timpilor de raspuns a buclei de reacție.
- ✓ Analiza elementelor semiconductoare (art. 8), afectarea capacității C_{GS} , C_{GD} (Miller) asupra circuitului driver, comportarea diodelor ultrarapide în circuitul de redresare din secundar.
- ✓ Comportarea circuitului driver din modulul primar, funcționând în regim de PWM, respectiv analiza buclei de reacție atunci cand sursa se află în regim de no-load, respectiv Dc-0.3%

- ✓ Comportarea experimentală a buclelor de reacție folosind modul test, generarea semnalului fiind realizată de un oscilator de banc.
- ✓ Analiza variației tensiunii de ieșire cu temperatura folosind cele două cuplaje, inductiv și capacitiv.
- ✓ Realizarea experimentală a unei surse de alimentare în comutație folosind topologie flyback, folosind PWM, cu separare galvanică folosind cuplaj capacitiv CPT pentru închiderea buclei de reacție.
- ✓ Realizarea experimentală a unei surse de alimentare în comutație folosind topologie flyback, prin control PWM, cu separare galvanică folosind cuplaj inductiv WPT pentru închiderea buclei de reacție.
- ✓ Realizarea experimentală a unei surse de alimentare în comutație folosind topologie half-bridge, folosind PFM, cu separare galvanică folosind cuplaj capacitiv pentru transmiterea puterii electrice.
- ✓ Raspunsul sursei de alimentare folosind half-bridge prin cuplaj capacitiv CPT în cazul funcționării în regim de rezonanță.
- ✓ Realizarea experimentală a unei surse de alimentare în comutație folosind topologie half-bridge, folosind PFM, cu separare galvanică folosind cuplaj inductiv pentru transmiterea puterii electrice.
- ✓ Analiza răspunsului la sarcini variabile rezistive a surselor flyback și half-bridge.
- ✓ A fost analizată variația Dc, și comportarea semnalului de comandă, folosind o plajă a tensiunii de alimentare de 80-250V C.A., variația fiind realizată cu ajutorul unui autotransformator, pentru topologia flyback.

9.3. PERSPECTIVE DE DEZVOLTARE ULTERIOARĂ

Din cercetările efectuate, pot deriva multe alte configurații de surse de alimentare în comutație. Se pot crea surse de alimentare folosind cuplaje inductive sau capacitive, atât pentru transmiterea puterii, cât și pentru transmiterea semnalelor de reacție. Datorită cuplajelor realizate, se pot transmite semnale de comunicare (cum ar fi semnale de intrare în regim de sleep a modului primar) prin cablul de alimentare cu coaxial, folosind doar firul de alimentare și planul GND, se poate transmite un semnal cu, componentă alternativă.

Datorită eliminării miezului magnetic din ferită se pot realiza surse de alimentare flexibile din punct de vedere mecanic, unde componentele sunt parte din tehnologia SMD, acestea împreună cu, cuplajele inductive sau capacitive să fie lipite și realizate din folia flexibilă.

Implementarea unor protecții mult mai rapide în modulul din secundar, dat fiind faptul că în cercetările efectuate, comanda impulsurilor se realizează din modulul secundar, de aici putem deduce că protecția la supracurent sau supratensiune este mult mai rapidă, ca și timp de acționare.

S-a început proiectarea unei surse de alimentare realizând o integrare a celor două surse prezentate în capitolele 5 și 7, astfel putem realiza un cuplaj inductiv realizat din traseul PCB, atât pentru transmiterea semnalului, cât și pentru transmiterea puterii electrice.

10. BIBLIOGRAFIE

- [1] <https://www.onsemi.com/> Switch mode power supply reference manual, SMPSRM/D Rev. 3, Jul-2002
- [2] Linear Technology, LTC1871 Wide Input Range, No Rsense Current Mode Boost, Flyback and SEPIC Controller, 2001
- [3] YILMAZ, Mehmet & CORAPSIZ, Muhammedfatih & Çorapsız, M. Reşit. (2020). Voltage Control of Cuk Converter with PI and Fuzzy Logic Controller in Continuous Current Mode. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*. 127-134. 10.17694/bajece.660025.
- [4] Li, Xiaodong & Bhat, Ashoka. (2014). A Fixed-frequency Series-parallel Resonant Converter with Capacitive Output Filter: Analysis, Design, Simulation, and Experimental Results. *Electric Power Components and Systems*. 42. 10.1080/15325008.2014.890975.
- [5] Han, J.-H.; Lim, Y.-C. Design of an LLC Resonant Converter for Driving Multiple LED Lights Using Current Balancing of Capacitor and Transformer. *Energies* 2015, 8, 2125-2144.
<https://doi.org/10.3390/en8032125>
- [6] <https://docs.broadcom.com/doc/Very-High-CMR-Wide-VCC-Logic-Gate-Optocouplers-DS>
- [7] I. Lope, C. Carretero, J. Acero, J. M. Burdio and R. Alonso, "Printed circuit board implementation of small inductors for domestic induction heating applications using a planar litz wire structure," 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA, USA, 2013, pp. 2402-2407, doi: 10.1109/APEC.2013.6520632.
- [8] <https://www.protoexpress.com/blog/build-multilayer-pcb-stack-up/>
- [9] <https://webench.ti.com/wb5/LDC/#/spirals>
- [10] <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/APID/ProductDocuments/DataSheets/MIC38C42-43-44-45-BiCMOS-Current-Mode-PWM-Controllers-DS20006436B.pdf>
- [11] https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IR2111-DS-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462533600a4015355e810e51682
- [12] David Maier and Normen Lucht and Alexander Enssle and Anna Lusiewicz and Julian Marius Fischer and UrsPecha Numerical Simulation of PCB-Coil-Layouts for Inductive Energy Transfer Systems <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:173169074>
- [13] <https://www.we-online.com/components/products/datasheet/760308111.pdf>
- [14] <https://ww1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/APID/ProductDocuments/DataSheets/MCP1012PrimarySideStart-UpICforIsolatedConverters20006277B.pdf>
- [15] <https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/develop/analog-development-tool-ecosystem/mplab-mindi-analog-simulator>
- [16] Marius Voinea, Cercetări privind testarea și simularea emisiilor produse de semnalele electrice de bandă îngustă, Teză de doctorat, Universitatea Politehnică din București, 2018.
- [17] Teodor-Cătălin Bibirică, Contribuții privind realizarea unui sistem inteligent de gestionare a bateriilor destinate vehiculelor electrice, Teză de doctorat, Universitatea Politehnică din București, 2019.
- [18] Marius Florin Stăniloiu, Contribuții privind simularea circuitelor neliniare complexe, Universitatea Politehnică din București, 2023.
- [19] Lucian – Vasile Ene, Contribuții privind transferul wireless al energiei electromagnetice la automobilele electrice, Teză de doctorat, Universitatea Politehnică din București, 2021.
- [20] Clayton R. Paul, „Introduction to Electromagnetic Compatibility” (2006) Second Edition.
- [21] Khambhadiya, Hardik & Kapil, Pattath. (2015). Design and implementation of the SMPS for IGBT Driver.
- [22] Muhammad H. Rashid, Dariusz Czarkwosky (2001) - Power Electronics Handbook,.
- [23] Robert W. Erickson, Dragan Maksimovic (2001)- Fundamentals of Power Electronics, Second edition.

- [24] *Ned Mohan, Tore M. Undeland, William P. Robbins* – Power Electronics: Converters, Applications, and Design – Wiley.
- [25] *Mohan, N., T. M. Undeland, and W. P. Robbins*, Power Electronics, Converters, Applications, and Design, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1995;
- [26] *Chiola, Davide & Griebel, Erich & Husken, Holger.* (2013). Fast IGBT and diode technologies achieve platinum efficiency standard in commercial SMPS applications.
- [27] *Brown, Marty*, Practical Switching Power Supply Design, IWO. San Diego. California 92101-4495. USA, ISBN 0-12-137030-5.
- [28] *Nicolae, P.M., Griva, G.B., Voinea, M.*, Low Power Generating System, Simulation and Analysis, Annals of the University of Craiova, Electrical engineering series, No. 34, 2010; pag. 97-102; ISSN: 1842-4805 (Index Copernicus database – Master Journal List).
- [29] *Marius VOINEA, Mihai IORDACHE*, “Transmission Lines and Square Wave Signal Integrity Analysis”, Proceedings of the The 9th International Conference Electronics, Computers and Artificial Intelligence, 29 June-1 July 2017, Târgoviste, ROMÂNIA, IEEE Xplore: 07 December 2017, DOI: 10.1109/ECAI.2017.8166399, Publisher: IEEE. Pp. 1-5.
- [30] *Ioana – Gabriela Sîrbu, M. Voinea, M. Iordache*, “The Circuit Analysis of a Step-Down DC-DC Converter under Ideal and Real Passive Components Assumption“, IEEE Xplore, Print ISBN: 978-1-4673-1809-9, INSPEC Accession Number: 14432811, Digital Object Identifier (DOI): 10.1109/ICATE.2014.6972595, Page(s): 11 – 16.
- [31] *Christophe P Basso*, Switch-Mode Power Supplies - SPICE Simulations and Practical Designs, 1st ed. New York, US: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2008.
- [32] *Nicolae, P.M., Voinea, M.*, Modelling and Simulation of Electromagnetic Conducted Emissions from Buck Converter with Resistive Load – 25-27 Oct. 2012 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE).
- [33] *Petre-Marian NICOLAE, Marius VOINEA*, Simulation And Analysis Of Emissions From A Switched Mode Power Supply And Methods Of Reducing Their, The 8th International Workshop Of Electromagnetic Compatibility Sibiu, ROMANIA, September, 27 – 29, 2012.
- [34] *Mihaela Grib, Ionela Vlad, O. D. Lăudatu, A. R. Grib, M. Iordache*, Hybrid Equivalent Circuit Generation, Carpathian Journal of Electrical Engineering, vol. 15, no. 1, pp. 81-93, 2021.
- [35] *M. Grib, M. Iordache, A. R. Grib, H. Popescu, O. Laudatu and M. Staniloiu*, "The Use of Thévenin, Norton and Hybrid Equivalent Circuits in The Analysis and Polarization of Nonlinear Analog Circuits," 2022 International Conference and Exposition on Electrical And Power Engineering (EPE), Iasi, Romania, 2022, pp. 198-207, doi: 10.1109/EPE56121.2022.9959871.
- [36] *O. Laudatu, M. Iordache, M. Stănculescu, L. Bobaru, D. Niculae and O. Drosu*, "Wireless Power Transmission System Design. A Practical Approach.," 2023 13th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, Romania, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/ATEE58038.2023.10108155.
- [37] *D. Niculae, M. Iordache, L. Bobaru, M. Stănculescu, M. Grib and O. Laudatu*, "Adapting the Impedance of The Signal Transmission Lines," 2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 01-05, doi: 10.1109/MPS58874.2023.10187513.
- [38] *O. Lăudatu, M. Iordache, M. Stănculescu, L. Bobaru, D. Niculae and E. Cazacu*, "Loop Closing of Flyback Switching Power Supply Using Capacitive Coupling," 2023 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Craiova, Romania, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290757
- [39] *Ovidiu Lăudatu, Mihai Iordache*, "Comparison of Inductive and Capacitive Couplings Used to Close the Feedback Loop Used in Switch Mode Power Supplies", Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechn. et Énerg., Vol.68, 4, DOI: <https://doi.org/10.59277/RRST-EE.2023.4>, WOS:001126934500008, Bucarest, 2023, Published: 14.12.2023. pp. 363–368.

- [40] **Ovidiu Lăudatu, Dragoș Niculae, Mihai Iordache, Maria – Lavinia Bobaru, Marilena Stănculescu**, "Experimental Analysis of Power Semiconductor Elements Used in Flyback Converters", *Rev. Roum. Sci. Techn.– Électrotechn. et Énerg.*, Vol. 69 No.1 (2024): RRST-EE, 1, <https://doi.org/10.59277/RRST-EE.2024.1.12>, **WOS:001198252400013**, Bucarest, 2024, Published: 04.04.2024. pp. 67–72.
- [41] **O. Lăudatu, M. Iordache, M. Stănculescu, D. Niculae, L. Bobaru and O. Drosu**, "Loop Closing of Flyback Switching Power Supply Using Inductive Coupling. Practical Study," 2023 10th International Conference on Modern Power Systems (MPS), Cluj-Napoca, Romania, 2023, pp. 01-04, doi: 10.1109/MPS58874.2023.10187546.
- [42] **Niculae, Dragos & Iordache, Mihai & Bobaru, Lavinia & Stanculescu, Marilena & Drosu, Oana & Moscu, Anton.** (2023). Dedicated Analog Circuit Simulation Programs. 1-6. 10.1109/SIELMEN59038.2023.10290763.
- [43] **Bobaru, Lavinia & Niculae, Dragos & Georgiana, Rezmerita & Stanculescu, Marilena & Iordache, Mihai & Drosu, Oana & Deleanu, Sorin.** (2023). Factors Influencing the Optimization of Magnetically Coupled Coil Structures-Analysis and Discussions.
- [44] **Staniloiu, Marius & Popescu, Horatiu-Samir & Iordache, Mihai.** (2023). SPICE model of a “n” channel MOSFET transistor.
- [45] **Iordache Mihai, Stanculescu Marilena, Andrei Paul, Bobaru Lavinia, Andrei Horia, Diaconu Emil, Cobianu Cosmin, Caciula Ion, Niculae Dragos.** (2023). Equivalent Models of Nonlinear Circuit Elements in Nonsinusoidal Regime.
- [46] **Popescu, Horatiu-Samir & Staniloiu, Marius & Iordache, Mihai.** (2023). A method for extracting the main parameters of a NPN bipolar transistor from datasheet for use in the SPICE model.
- [47] **Iordache, Mihai & Stanculescu, Marilena & Asanache, Razvan & Bobaru, Lavinia & Deleanu, Sorin & Niculae, Dragos & Georgiana, Rezmerita.** (2023). Analiza circuitelor analogice utilizând parametrii S și diagrama Smith.
- [48] **Iordache, Mihai & Stanculescu, Marilena & Niculae, Dragos & Bobaru, Lavinia & Deleanu, Sorin & Drosu, Oana.** (2022). Wireless Power Transfer Systems Optimization. 10.1109/EPE56121.2022.9959759.
- [49] **Iordache, Mihai & Dumitriu, Lucia & Niculae, Dragos & Zainea, Georgiana.** (2022). Power Transfer by Magnetic Induction Studied by Coupled Mode Theory. 10.1201/9781003340065-1.
- [50] **Iordache, Mihai & Dumitriu, Lucia & Niculae, Dragos.** (2022). Power Transfer by Magnetic Induction Using Coupled-Mode Theory. 10.1201/9781003340072-1.
- [51] **Niculae, Dragoș & Stanculescu, Marilena & Deleanu, Sorin & Iordache, Mihai & Bobaru, Lavinia.** (2021). Wireless Power Transfer Systems Optimization Using Multiple Magnetic Couplings. *Electronics*. 2021. 1-16. 10.3390/electronics10202463.
- [52] **Bucata, Victor & Iordache, Mihai & Ionela, Vlad & Orosanu, Alina & Popescu, Horatiu-Samir & Staniloiu, Marius.** (2021). Wireless Power Transfer Systems: Thévenin Equivalent Circuits for Parallel-Series and Parallel-Parallel Magnetic Resonator Configurations. 1-6. 10.1109/ICATE49685.2021.9464974.
- [53] **Andrei, Horia & Iordache, Mihai & Andrei, Paul & Stanculescu, Marilena & Deleanu, Sorin & Bobaru, Lavinia.** (2021). Power and Energy Flow in Cvasi-Stationary Electric and Magnetic Circuits. 10.1007/978-3-030-62191-9_24.
- [54] **Constantin Sora** (1982) Bazele electrotehnicii. Editura Didactica si Pedagogica .
- [55] **Mihai Iordache**, Bazele electrotehnicii, Matrix Rom București.
- [56] **Mihai Iordache, Marilena Stanculescu, Lavinia Bobaru, Dragos Niculae, Sorin Deleanu, Victor Bucata**, Sisteme de transfer wireless al energiei electromagnetice, Matrix Rom București.
- [57] **Lucia Dumitriu, Mihai Iordache**, Teoria circuitelor electrice, Matrix Rom București.

- [58] *Mihai Iordache*, Chestiuni speciale de electrotehnica, Matrix Rom București.
- [59] *Mihai Iordache*, Dragos Niculae, Marilena Stanculescu, Lavinia Bobaru, Georgiana Rezmerita, Utilizarea parametrilor patologici in analiza circuitelor analogice, Matrix Rom București.
- [60] *Wu, Zhaohui & Chen, Kangping & Li, Bin.* (2023). A High Crosstalk Suppression SiC MOSFET Gate Driver. Journal of Physics: Conference Series. 2584. 012071. 10.1088/1742-6596/2584/1/012071.
- [61] *Dou, Sheng & Huang, Liansheng & Fu, P. & Chen, Xiaojiao & Zhang, Xiuqing & He, Shiyong & Wang, Zejing & Yang, Jian.* (2024). Series Capacitance Gate Driver to Suppress Voltage Oscillation of SiC MOSFET. IEEE Journal of the Electron Devices Society. PP. 1-1. 10.1109/JEDS.2024.3349684.
- [62] *Ma, Jiuxin & Liang, Yu & Ren, Lvheng & Xu, Wenbo & Ma, Jianhao & Dong, Shoulong & Yao, Chenguo.* (2023). Ultrafast Gate Driver With GaN HEMTs for ns-Pulse Generator Using SiC MOSFET. IEEE Transactions on Plasma Science. PP. 1-10. 10.1109/TPS.2023.3289868.
- [63] *Choi, Hojong & Shung, K.* (2014). Crossed SMPS MOSFET-based protection circuit for high frequency ultrasound transceivers and transducers. Biomedical engineering online. 13. 76. 10.1186/1475-925X-13-76.
- [64] *Lee, Dong-Hee.* (2017). Simple MOSFET gating delay scheme for SMPS start-up in the standby power reduction circuit. IET Power Electronics. 11. 10.1049/iet-pel.2016.0602.
- [65] *Hastings, A.* (1995). Integrated MOSFET interface for a synchronously-rectified SMPS. Journal of Clinical Neuroscience - J CLIN NEUROSCI. 58 - 61. 10.1109/BIPOL.1995.493866.
- [66] *Fauzi, Fijay & Zaidi, M & Udom, U & Abdul-Manaf, N. Azlian.* (2022). Switch Mode Power Supply (SMPS) Utilizing Flyback Converter Topology: Simulation and Experiment. Journal of Physics: Conference Series. 2312. 012050. 10.1088/1742-6596/2312/1/012050.
- [67] *Jung, Jeesung & Huang, Alex.* (2009). Improved Breakdown-Voltage Complementary MOSFET in a 0.18 μm Standard CMOS process for Switch Mode Power Supply (SMPS) applications. Proceedings of the International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs. 239 - 242. 10.1109/ISPSD.2009.5158046.
- [68] *Banerjee, S. & Parthasarathy, Vijay & Manley, Martin.* (2010). Design of stable 700V lateral MOSFET for new generation, low-cost off-line SMPS. Proceedings of the International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs. 269 - 272.
- [69] *Yadav, Prasad & Chavan, Akshay & Apte, A & Ponkshe, & Ospanova, A.* (2022). Design of Robust & Efficient SMPS for Charging of Lithium Ion Battery used in Electric Vehicle. International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology. 11. 3815-3819. 10.15680/IJRSET.2022.1104061.
- [70] *Ye, Xuerong & Chen, Cen & Wang, Yixing & Zhai, Guofu & Vachtsevanos, George.* (2016). Online Condition Monitoring of Power MOSFET Gate Oxide Degradation based on Miller Platform Voltage. IEEE Transactions on Power Electronics. 32. 1-1. 10.1109/TPEL.2016.2602323.
- [71] *Escudero, Manuel & Morales, Diego & Rodriguez, Noel.* (2021). Optimum Design And Novel Control Techniques For Isolated, Resonant And Quasi-Resonant, Dcdc Converters.
- [72] *Huang, C & Liang, J & Hsu, W & Yang, C.* (2021). A design of flyback switched-mode power supply with softswitching using the UC3842 controller. Journal of Physics: Conference Series. 2020. 012031. 10.1088/1742-6596/2020/1/012031.
- [73] *Manjunath, Ashritha & M L, Sudheer.* (2021). Mitigation of CM conducted EMI in flyback converter using balancing capacitors. IET Power Electronics. 13. 10.1049/iet-pel.2020.0847.
- [74] *Fukunaga, Shuhei & Takayama, Hajime & Hikihara, Takashi.* (2022). Slew rate control of switching transient for SiC MOSFET in boost converter using digital active gate driver. IET Power Electronics. 16. n/a-n/a. 10.1049/pel2.12398.

11.2. A2 SCHEMA SURSEI DE ALIMENTARE FLYBACK, FOLOSIND ÎNCHIDEREA BUCLEI DE REACȚIE PRIN CUPLAJ INDUCTIV

